農業新知

美國Kellogg Biological Station 農業長期生態研究站考察

農試所農化組 陳琦玲
農試所副所長 陳炳輝
台南區農改場場長 黃山內
林試所 林朝欽
國立台灣大學 陳尊賢
國立中興大學 楊秋忠

一、前言

行政院國家科學委員會於1992年起補助我國長期生態研究(Long Term Ecological Research,LTER)計畫，迄今相繼成立五個長期生態研究試驗地 (福山、關刀溪、塔塔加、南仁山、墾丁) 對我國自然區域 (陸地、海洋) 的生態現象與運行過程有更清楚的理解。自2000年起，長期推展我國長期生態研究的學者金恆鑣博士邀集農業與生態研究人員開始研議計畫成立「農業生態系之長期研究站」。國家科學委員會於2002年補助推動「農業生態系長期研究之先期工作」，並於該年11月補助舉辦中美雙邊「農業生態系長期研究研討會」，會中邀請美國密西根州立大學W. K. Kellogg Biological Station (KBS)長期生態研究 人員及資料處理專家來台聯合演講。會後建議後續工作中，首次建立試驗地研究人員互訪計畫，以加強相關研究及進行學術合作研究等事項。

2004年10月參訪KBS係繼美國KBS人員來訪後之互訪計畫，由台灣大學農化系主任陳尊賢教授領隊。行程之目的，是了解美國密西根州立大學KBS農業長期生態研究站之組織、組成過程、試驗之運作、過去的成果與未來研擬的方向等，以作為評估台灣是否要建立農業長期生態研究站及其規模，並擬定農業長期生態研究運作機制之參考。

二、國際長期生態研究網概述

長期生態研究之主要目的，在於長期建立各種代表性生態系之基礎資料，藉由資料比較分析，證明及監測生態系中各種現象在時間與空間的長期變化與過程，進而瞭解全球氣候變遷對生態系所產生的影響，並產生「維持生態系平衡，營造最佳的人類生活環境」的策略。在長期生態研究過程中，為解決區域性及全球性的生態問題，調查研究資料的整合與分享，則是達成長期生態研究最終目的之必要手段。國際長期生態研究網 (ILTER Network) (http://www.ilternet.edu/) 於1993年在美國成立。我國為創始會員國之一。此研究網之任務即為促進全球科學家整合生態學知識，成立長期試驗地，並共享資訊、強化合作，了解長時間、廣空間的全球生態過程，作為生態與環境管理的科學性資訊。十年來此國際組織之運作與發展下，已正式有二十七國會員國。

美國國家科學基金會(National Science Foundation, NSF)自1980年起，建立長期生態研究網，起初只有6個站，至2004年增為26個站。涵蓋範圍從極地凍原至熱帶沙漠，從熱帶雨林至郊區的集水區。

作者：陳副研究員琦玲
連絡電話：04-23302301-415

三、農業生態系的長期生態研究

人類為生產的需要所造成農田生態系之變異程度，及其生產過程之時間與空間的變化過程，可藉由長期生態系研究獲得了解，進而推演農業生態系之管理法則，是美國農業長期生態系研究之目的。

(一) 現代農業生態系的基礎研究

KBS是美國26個長期試驗站中唯一的農業站，係由美國國家科學基金會，密西根州立大學和密西根農業試驗站於1987年於(KBS)，建立的一個農業生態系多領域研究計畫。計畫的目的是在探討一年生與多年生具生產力的作物系統內之生態交互作用。

KBS位於美國玉米帶（Corn Belt）北部的密西根州之西南部（85°24'W, 42°24'N, 海拔高度288m）（圖一）。該站全部面積約1,600ha，其中有500ha有農作栽培，其他1,100ha為演替(Succession)，森林或水生生態的不同階段。LTER試驗面積為56ha。土壤主要是Typic Hapludalf，是由冰河流出的溶冰所造成的冰水沉積物發展而成。年平均雨量為840mm，年平均溫度為9℃，月平均最低溫為一月之-5℃，月平均最高溫為七月的22℃。

(二) 研究重點

KBS主要研究重點在探討農業地景(Landscape)上之生物多樣性(Biodiversity)角色，及其相關的生態功能。由於農藝管理降低了作物生態系內各種生物社群之結構複雜度(Structural Complexity)，因此研究重點集中於探討：(1)什麼是作物生態系調節生物複雜度(Biotic Complexity)的關鍵特性。(2)降低生物複雜度會導致什麼後果。(3)我們可管理生物複雜度到怎樣的程度，以減少農田投入的需求。為探討作物生態系管理之功能所導致生物複雜度改變之形態、原因與後果等，研究中特別探討作物生態系之三類生物群：(1)影響土壤有機質動態與生化過程之土壤微生物與土壤無脊椎動物社群(Communities)。(2)地上之消費者社群--發生嚴重影響生產力之病蟲害的病菌與昆蟲。(3)植物社群--牽動營養元素動態與地下及昆蟲社群結構。研究主題分為五方面：(1)營養元素的有效性：包括調節氮素和土壤有機質轉化(Turnover)的微生物交互作用，以及營養元素流失於環境及地下水。(2)養份流失到環境: 流失到地表水、地下水及大氣中（圖二）。(3)植物競爭：包括作物--雜草間對光、水和營養元素的競爭，以及植物本身各部分穀粒、

圖一、美國LTER試驗田區。

圖二、LTER滲漏計入滲液抽出裝置。

農業新知

根和葉等對碳和氮之分配。(4)昆蟲/病害動態：包括昆蟲、植物、掠食動物與被害者間之動態，以及病害平衡(Pathogen Equilibrium)之防治。(5)數值模式化：決定生態系行為之族群與生態系等級之交互作用的數值模式化。

(三) 試驗設計

為了解農業生態系中長期的影響，需要較大且複雜的田間處理區，以長期維持個別的作物系統。LTER研究站之田間處理都是設計成可維持100年以上。KBS LTER試驗共有7個處理與6個重覆相關試區，每個處理1公頃，在主要試區外相關試區全部共56公頃。在試驗前全區共採560個土壤樣本進行土壤特性分析，以決定試驗設計逢機完全區集設計(RCBD)。七個處理分別是： (1)高投入且耕犁之玉米/大豆/小麥輪作處理。(2)高投入但不施肥之玉米/大豆/小麥輪作處理。(3)低投入且有豆科覆蓋之玉米/大豆/小麥輪作處理。(4)不施肥、有豆科覆蓋之玉米/大豆/小麥輪作處理。(5)多年生泡桐(Populus)。(6)多年生苜蓿。(7)自然植生演替，連續休耕，但仍耕犁。(8)自然植生演替，連續休耕，且不耕犁。

試驗處理主要包括兩種傳統投入的玉米/大豆/小麥輪作制度（耕犁或不耕犁），兩種有機經營方式之玉米/大豆/小麥輪作制度（低或無化學物質投入），兩種多年生的生質量作物（苜蓿和泡桐）以及兩種自然植生演替或舊有農地之處理（耕犁或不耕犁）。為探討其他相關主題，另在大面積處理區內，設計小的處理區，如肥料或除草劑試驗等。

(四) 資訊管理系統

KBS的長期生態研究計畫雖是以農業生態研究為主要對象，但研究計畫內容包含了研究取樣的所有資料的整理、保存、與使用，其目的是為了長期性資料的再利用以及整合不同議題的需要，因此在其長期生態研究計畫設立之初即已建立了資料管理制度，此制度由各研究計畫人員共同遵守資料提供與使用的規定，並設置資訊管理員負責資料之整理、儲存以及提供使用的管制。基本上凡參與此長期生態研究的科學家，在進行研究前，必須與計畫管理員討論其研究時程，由其依各不同計畫所需排定取樣或資料收集日程進度。當野外調查時程設定後，研究人員尚須與資訊管理員討論資料蒐集之格式與置入資料庫事宜，計畫結束後各計畫研究人員必須在一定時間內提供原始資料，並由資訊管理員加以初步檢視以確保資料品質後，才放入資料庫。

除各不同研究計畫特別性質的資料外，研究站將氣象、地理資訊、樣區等資料視為共同性資料，統一建置並提供計畫所有人員使用。目前資料管理建置在其主網頁http://lter.kbs.msu.edu 之下，有一專屬的data說明項及提供資料目錄。

KBS的研究資料管理架構分為兩大部份，一為原始資料檔；另一為資料目錄檔(Metadata)。原始資料檔為由各研究計畫所提供的數據檔案，其儲存格式不一。至於目錄檔則由資訊管理員建立，以資料庫格式依Metadata的標準建立。該計畫設立之初，此資料目錄檔以文字檔建立，目前則依美國生態界所發展的EML(E ecological Metadata Language)格式建立，此格式以XML(Extensible Markup Language)儲存，不但可透過網際網路交換，更可以利用目前最新的Web Service技術提供搜尋並可聯結資料分析流程(Scientific Workflow)。

(五) 長期監測計畫

KBS提供每一處理基本的長期的定期監測資料給研究人員。包括(1)植物社群參數(Plant Community Parameters)：例如主要的生產力、營養元素的吸收、雜草品種分佈等；(2)昆蟲活動：例如入侵者與被害者的總量和植物傷害(Herbivory Damage)等；(3)土壤化學與物理特性：例如氮與碳含量，土壤溼度與孔隙度等；(4)土壤生物特性：例如微生物生質量，氮素礦化速率與

土壤呼吸等；(5)氣象因子：例如氣溫與日射量等。

四、心得與建議

(一) 農業生態系有別於自然生態系，美國26個長期生態研究站，在農業方面亦只有一個站，該站係屬於溫帶農業生態研究站，台灣若能建立另一完整的亞熱帶的農業生態研究站，未來除了解我國農業生態系並提出管理法則外，亦可以與美國或其他溫帶者進行比較，提供更豐富的生態系資訊，以減輕人類活動對生態造成的衝擊。

(二) 依據美國KBS長期研究站之經驗，成敗主要關鍵之一在於試驗設計之輪作系統之作物種類之選擇與搭配，再配合耕犁與否及施肥量之多寡等，因其均會造成作物生產量及作物品質之差異，進而影響養分收支之動態變化及病害及蟲害分佈之變化。另一成敗關鍵之一為維護試驗設計系統之經營與管理，在全年近一百萬美元之經費下，幾乎有50%之經費用於試驗站之操作費、土壤與作物之週期性採樣與分析工作，及資料庫之維護與建置工作，並將資料開放給所有研究人員。其他50%經費才用於研究主題之學術研究經費。

(三) KBS長期研究站有很完整之資料庫系統，且極嚴格要求研究人員準時繳交資料，否則就取消次年的計畫，令人印象深刻。過去臺灣森林生態LTER之研究已達10年迄今亦尚未建議完整之資料庫，此為臺灣未來執行長期生態計畫之首要任務之一。要建立完整的生態系試驗並不容易，除了需整合各領域的研究人員共同參與研究，共同分享資料，亦需有良好的資訊管理系統。

(四) 傳統上資料蒐集為所有研究人員最重視的工作，但資料管理、分享及再使用卻是相當受忽視的項目，研究人員大多自行建檔管理資料，但因缺乏Metadata的概念，使得資料的使用壽命不能延長，更甚者對於不同領域的資料整合成為困難的工作。以長期生態研究的大型計畫而言，KBS研究站的研究主導者在設立之初即已重視了此問題，不但設立了良好制度，且有專人來管理，使得該站的研究成果能藉由良好的資料倉儲，作長期的分析與整合工作，不但有利大型計畫之持續推動，更有助解釋複雜的生態問題。台灣若欲推動農業長期生態研究計畫，宜將資料管理工作與研究計畫內容一併重視與考慮納入計畫中，並應匀支費用設置資料管理制度，由生態學家自行負責，而非委由資訊人員或外包資訊公司辦理，故在計畫形成前應尋覓可兼任或轉任之生態研究者加入，若無適當人員則宜規劃有意願者先行訓練資訊管理技術。此外，研究計畫更應重視Metadata的建立，如此方能使資料的分享與再利用充分獲得發揮。

(五) 生態研究為長期工作，台灣若欲執行農業LTER計畫，建議在建立LTER試驗站前，先有各領域科學家研商會議，多方討論研究主題、作物輪作系統、採樣規劃、試驗站與資訊系統管理等問題，使計畫兼顧基礎研究與應用之研究，並能持續維持，以達研究之目標與價值。

(六) 長期生態試驗雖屬於基礎研究，需要長期的試驗與分析後才有研究成果，但長期的試驗站，若能結合地區性相關之學校與社區之生態教育與推廣工作，則可藉分享研究中所獲得的知識，逐漸呈現試驗的成果。

(七) 台灣雖然土地面積小，交通方便，採樣樣品可於短期內送到各研究人員之實驗室，但部分採樣樣品仍有立即處理之需要，或部分試驗項目需連續監測，試驗站若能提供相當的設備，如KBS的設備，將可提升試驗之效率與方便性。另一方面，試驗站亦應有簡易的氣象站，且有專人負責收集資料品質之管控。故為節省試驗成本，建議試驗站設於原已有相當設備的試驗場所內。